

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10156885  
PUBLICATION DATE : 16-06-98

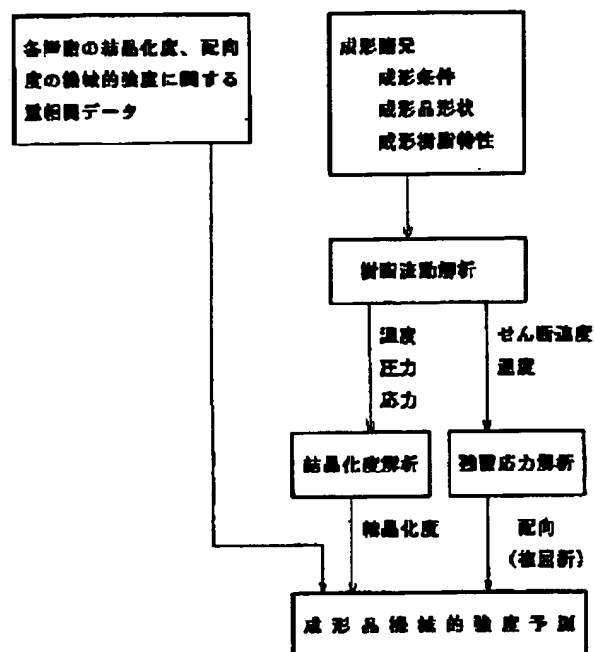
APPLICATION DATE : 28-11-96  
APPLICATION NUMBER : 08317515

APPLICANT : MITSUBISHI PLASTICS IND LTD;

INVENTOR : HAYASHI TATSUYA;

INT.CL. : B29C 45/17 B29C 33/00 B29C 45/76

TITLE : METHOD FOR PREDICTING  
MECHANICAL STRENGTH OF  
INJECTION-MOLDED ARTICLE OF  
CRYSTALLINE THERMOPLASTIC  
RESIN



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To make prediction at design stage possible by a method wherein multiple correlation data between crystallinity and degree of orientation and mechanical properties of a molded article are made by actual measurements and the mechanical strength is predicted from values obt'd. by analysis based on various conditions for molding.

SOLUTION: On resins used for molding, injection moldings are performed by using a various kinds of grades and mechanical strengths such as bending strength and bending elasticity and crystallinity and degree of orientation are actually measured and multiple regression analysis of the crystallinity and the degree of orientation to the mechanical strengths is performed to obtain a multiple regression equation. Then, based on various conditions for molding contg. molding condition, the shape of a molded article and molding resin characteristics, temp., pressure, shear velocity, etc., in a mold are obt'd. as a function of position and time by flow analysis of the resin. Then, the crystallinity and the degree of orientation in an injection-molded article are obt'd. and the mechanical strength of the injection-molded article is obt'd. from these and the multiple regression equation.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

**XP-002290819**

**AN - 1998-392277 [34]**

**AP - JP19960317515 19961128**

**CPY - MISD**

**DC - A17 A32**

**FS - CPI**

**IC - B29C33/00 ; B29C45/17 ; B29C45/76**

**MC - A09-C A09-D01 A11-B12**

**PA - (MISD ) MITSUBISHI PLASTICS IND LTD**

**PN - JP10156885 A 19980616 DW199834 B29C45/17 012pp**

**PR - JP19960317515 19961128**

**XA - C1998-118877**

**XIC - B29C-033/00 ; B29C-045/17 ; B29C-045/76**

**AB - J10156885** The multiple correlation data between the crystallinity, the degree of orientation, and the mechanical strength of mouldings are prepared previously by actual measurements. The crystallinity and the degree of orientation are obtained by the analysis of the moulding data including the moulding conditions, the shape of moulded article, and the moulding resin properties. Thus, the mechanical strength of the injection mouldings are predicted from the crystallinity and the degree of orientation, which have been obtained, and from the multiple correlation data.

- **USE** - When the products of polyolefin plastics, etc. or the shape of mould are designed, the mechanical strength of the final mouldings is predicted to evaluate whether it meets the demand.
- **ADVANTAGE** - The mechanical strength can be predicted in the stage of design without obtaining the mouldings by injection moulding.
- (Dwg.0/1)

**IW - PREDICT MECHANICAL STRENGTH CRYSTAL THERMOPLASTIC RESIN INJECTION MOULD CRYSTAL DEGREE ORIENT AVOID NEED PREPARATION MOULD DETERMINE MECHANICAL STRENGTH**

**IKW - PREDICT MECHANICAL STRENGTH CRYSTAL THERMOPLASTIC RESIN INJECTION MOULD CRYSTAL DEGREE ORIENT AVOID NEED PREPARATION MOULD DETERMINE MECHANICAL STRENGTH**

**NC - 001**

**OPD - 1996-11-28**

**ORD - 1998-06-16**

**PAW - (MISD ) MITSUBISHI PLASTICS IND LTD**

**TI - Prediction of mechanical strength of crystalline thermoplastic resin injection mouldings - from crystallinity and degree of orientation, avoids need to prepare mouldings to determine mechanical strength**

**A01 - [001] 018 ; H0317 ; S9999 S1434 ;**

- **[002] 018 ; ND07 ; N9999 N6484-R N6440 ; B9999 B4091-R B3838 B3747 ; N9999 N6382-R ; N9999 N7238-R ; N9999 N6611-R ; B9999 B5152-R B4740 ; B9999 B4773-R B4740 ;**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-156885

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

B 2 9 C 45/17

33/00

45/76

識別記号

F I

B 2 9 C 45/17

33/00

45/76

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平8-317515

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 11月28日

(71) 出願人 000006172

三菱樹脂株式会社

東京都千代田区丸の内 2 丁目 5 番 2 号

(72) 発明者 林 達也

神奈川県平塚市真土2480番地 三菱樹脂株式会社平塚工場内

(74) 代理人 弁理士 近藤 久美

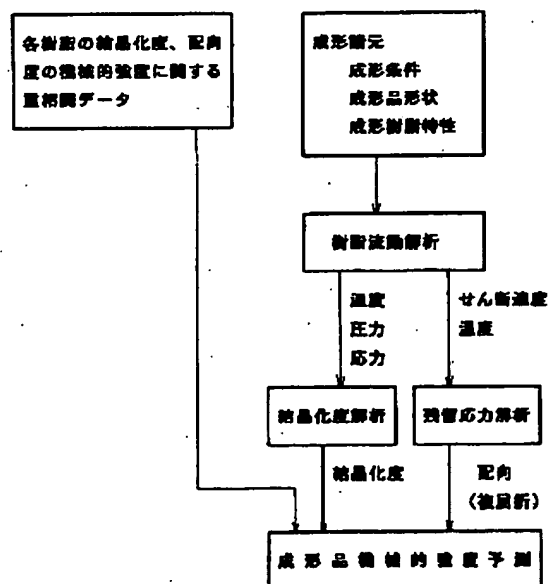
(54) 【発明の名称】 結晶性熱可塑性樹脂射出成形品の機械的強度予測方法

(57) 【要約】

【課題】 実際に射出成形により成形品を得ることなく、設計段階で成形品の機械的強度を予測する。

【解決手段】 結晶性ポリオレフィン系樹脂の射出成形品の結晶化度および配向度と機械的強度との重相関データを実測によって作成しておき、成形条件、成形樹脂特性などの成形諸元に基づく解析によって結晶化度と配向度を求め、求められた結晶化度および配向度と、前記重相関データとから射出成形品の機械的強度を予測する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 結晶性熱可塑性樹脂射出成形品の機械的強度を予測する方法であって、成形品の結晶化度および配向度と機械的強度との重相関データを実測によって作成しておき、

成形条件、成形品形状および成形樹脂特性を含む成形諸元に基づく解析によって結晶化度と配向度を求め、求められた結晶化度および配向度と、前記重相関データとから射出成形品の機械的強度を予測することを特徴とする機械的強度予測方法。

【請求項2】 機械的強度が曲げ強度、曲げ弾性率、引張強度、引張破断伸びまたはアイゾット衝撃強度である請求項1記載の機械的強度予測方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明が属する技術分野】本発明はポリオレフィン樹脂などの射出成形品の製品あるいは金型形状を設計するにあたって、最終成形品の機械的強度が要求を満足できるものか否かの評価を行うために有用な機械的強度予測方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術とその課題】射出成形用の金型あるいは製品形状の設計に際して、金型内での樹脂の流動解析や金型の構造解析などの解析を行うことにより評価を行うことは従来から知られている（例えば特開平4-102179号公報）。しかしこのような解析により最終製品の機械的強度の予測を行うまでには至っていないのが現状である。

【0003】そのため、金型設計などはある程度試行錯誤的に行われ、金型設計後に射出成形を行いその成形品が要求の機械的強度に満たない場合にはコストの高い原料を選定せざるを得なかったり、強度を向上させるため金型を修正し厚肉にしたりしているのが現状である。

【0004】本発明の目的は、金型を製作したり、またその金型を用いて実際に射出成形を行うことなく、設計段階で最終成形品の物性値を予測することができる金型設計、製品設計などのための評価方法を提供することにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、ポリオレフィン系樹脂などの結晶性熱可塑性樹脂の射出成形における金型設計、製品設計などに有用な機械的強度予測方法を提供するものであって、その要旨は、成形品の結晶化度および配向度と機械的強度との重相関データを実測によって作成しておき、成形条件、成形品形状および成形樹脂特性を含む成形諸元に基づく解析によって結晶化度と配向度を求め、求められた結晶化度および配向度と、前記重相関データとから射出成形品の機械的強度を予測することを特徴とする機械的強度予測方法にある。

## 【0006】

【作用】本発明によれば、成形諸元からの解析結果によって求められる成形品の結晶化度と配向度とを、実測して得たこれらの値の各機械的強度に関する重相関データに照合することで成形品の各部位の各機械的強度を予測することができるものであり、金型設計、製品設計段階において最終成形品の機械的強度が要求を満たすか否かを判断でき、迅速な設計と設計修正が可能になる。

## 【0007】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図示の実施例に基づいて詳細に説明する。図1は本発明の一つの実施例のフローチャートである。図1に示す本発明予測方法の一つの実施例は、次の4つのステップを含んでいる。

【0008】1) 成形に使用する樹脂について多種類のグレードを用いて射出成形を行い、機械的強度（曲げ強度、曲げ弾性率、引張強度など）、結晶化度および配向度を実測して、機械的強度に対する結晶化度および配向度の重回帰分析を行って、重回帰式を求める。

【0009】2) 成形条件、成形品形状および成形樹脂特性を含む成形諸元に基づいて、樹脂の流動解析によって、結晶化度および配向度の予測に必要な樹脂の状態、すなわち金型内の温度、圧力、せん断速度などを位置および時間の関数として求める。

3) 上で求められた温度、圧力、せん断速度などから、射出成形品における結晶化度および配向度を求める。

【0010】4) 求められた結晶化度および配向度と、前記重回帰式とから射出成形品の機械的強度を求める。

【0011】以下に、各ステップを説明する。

1) 機械的強度に対する結晶化度および配向度の重回帰分析：ここでは、信頼性の高い重回帰式を得るため、多種類の樹脂グレードについて、射出成形条件を種々変更して射出成形品を作成する。

【0012】本例では、1次構造が大きく異なるポリプロピレン樹脂を用いて、27通りの成形条件で、300mm×200mmの板状成形品（肉厚2、3、4mm）を射出成形した。これらの成形品の中央から、JIS規格に従って試験片を切り出して各種機械的強度の測定を実施した。一方、同じ射出成形品の中央部より2cm角程度の少量の試料を切り出し、結晶化度および配向度を測定した。

【0013】結晶化度は成形品の密度から算出した。配向度は顕微フーリエ変換赤外分光光度計により、成形品断面の表面から中心までのc軸配向関数 $f_c$ の値を積分することにより求めた。

【0014】得られた各機械的強度と、結晶化度および配向度との関係を重回帰分析した結果、ホモポリマーとブロックコポリマーの各々について、成形品の肉厚ごとに、表1～5に示す係数を持った下記重回帰式が得られた。

【0015】
$$Y = A \cdot X_1 + B \cdot X_2 + C$$
$$Y : \text{機械的強度}$$

A : 配向度についての偏回帰係数  
 $X_1$  : 配向度測定値  
 B : 結晶化度についての偏回帰係数

$X_2$  : 結晶化度測定値  
 【表1】

表 1

			偏 回 帰 係 数		定 数 C	重相関係数	有意差 検定
			配向度A	結晶化度B			
曲 げ 強 度	ホ モ ポ リ マ ー	2mm	1320	23.97	-971.3	0.896	**
		3mm	741.9	10.51	-47.17	0.782	**
		4mm	237.4	21.53	-732.0	0.817	**
	コ ポ リ マ ー	2mm	945.4	8.489	-97.08	0.926	**
		3mm	843.4	13.31	-335.8	0.958	**
		4mm	1336.2	11.10	-169.3	0.959	**

【0016】

【表2】

表 2

			偏 回 帰 係 数		定 数 C	重相関係数	有意差 検定
			配向度A	結晶化度B			
曲 げ 弾 性 率	ホ モ ポ リ マ ー	2mm	7.089	0.166	-8.597	0.875	**
		3mm	4.663	0.026	0.230	0.704	**
		4mm	3.154	0.090	-4.197	0.780	**
	コ ポ リ マ ー	2mm	5.205	0.012	0.724	0.724	**
		3mm	4.639	0.045	-1.367	0.907	**
		4mm	5.911	0.043	-1.271	0.871	**

【0017】

【表3】

表 3

			偏 回 帰 係 数		定 数 C	重相関係数	有意差 検定
			配向度 A	結晶化度 B			
引 張	ホ モ ポ リ マ ー	2mm	473.5	2.135	247.4	0.907	**
		3mm	351.9	3.462	158.1	0.860	**
		4mm	86.09	14.57	-566.2	0.806	**
強 度	コ ポ リ マ ー	2mm	704.6	-0.472	276.5	0.821	**
		3mm	403.3	4.236	17.08	0.936	**
		4mm	650.9	4.327	9.968	0.953	**

【0018】

【表4】

表 4

			偏 回 帰 係 数		定 数 C	重相関係数	有意差 検定
			配向度A	結晶化度B			
破 断	ホ モ ポ リ マ ー	2 $\mu$ m	219.2	-0.788	66.7	0.583	**
		3 $\mu$ m	172.4	-2.902	202.1	0.654	**
		4 $\mu$ m	84.02	-6.300	429.4	0.672	**
伸 び	コ ポ リ マ ー	2 $\mu$ m	788.0	-11.58	864.3	0.534	*
		3 $\mu$ m	-647.4	0.113	274.5	0.492	*
		4 $\mu$ m	1467.4	-19.41	1332.0	0.492	*

【0019】

【表5】



表 5

			偏 回 帰 係 数		定 数 C	重相関係数	有意差 検定
			配向度 A	結晶化度 B			
機 械 性 値	ホ モ ポ リ マ ー	2mm	14.21	0.453	-25.75	0.532	**
		3mm	12.31	-0.029	4.069	0.638	**
		4mm	3.115	-0.003	4.518	0.452	*
	コ ポ リ マ ー	2mm	67.98	-0.288	28.15	0.479	**
		3mm	139.47	-1.641	109.80	0.693	**
		4mm	1292.5	-2.220	135.81	0.858	**

【0020】そして、各重回帰式の分散分析を行い、重回帰の検定をしたところ、多くの機械強度については危険率1%で有意（表では\*\*で表示した）、一部の機械的強度についても危険率5%で有意（表では\*で示した）との結果が得られた。これらの重回帰式が機械的強度の予測に役立つことを示している。

【0021】また、重回帰式のあてはまりの良さを示す重相関係数を算出したところ、各表に示すような高い重相関係数が得られ、結晶化度および配向度の2要因から高精度で機械的強度を予測できることが明らかになった。なお成形品厚さについては、現実に使用されている射出成形品の大部分の厚さが2～4mmの範囲にあることから、厚さ2、3、4mmの場合について重回帰分析を行ったが、これらの中間の厚さについては線形補間等による近似が可能である。

【0022】2) 成形諸元に基づく樹脂の流動解析：このステップでは、成形条件、成形品形状、成形樹脂特性

などの成形諸元に基づいて、樹脂の流動解析を行うことにより金型内の樹脂状態をシミュレートして、次ステップで結晶化度、配向度を求めるのに必要な温度、圧力、応力、せん断速度などを求める。

【0023】すなわち、成形条件データ（金型温度、樹脂温度、射出速度など）、成形品形状データ（使用される金型のキャビティ形状のデータであり、例えば微少な有限の要素に分割することによって得る）、成形樹脂特性データ（粘度、比熱、密度、熱伝導率、固化温度などの物性データ）、さらには金型特性（熱伝導率、比熱など）などの成形諸元を基に流動解析を行う。

【0024】流動の解析は例えば、次の運動方程式（1）と、式（2）で与えられる連続の式と、式（3）で与えられるエネルギー方程式により行なう。

【0025】

【数1】

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \tau_x}{\partial z} &= \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial \tau_y}{\partial z} &= \frac{\partial P}{\partial y} \end{aligned} \right\} (1)$$

(x, y: 流れ方向, z: 厚さ方向,  
 $\tau_x, \tau_y$ : x, y方向のせん断応力 P: 圧力)

【0026】

【数2】

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

(u, v: x, y方向の流速)

【0027】

【数3】

$$\left. \begin{aligned} \rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) &= \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\lambda \partial T}{\partial z} \right) + J'' \end{aligned} \right\} (3)$$

(T: 温度,  $\eta$ : 粘度,  $\lambda$ : 熱伝導率,  $\rho$ : 密度,  
 $C_p$ : 比熱,  $v$ : せん断速度, J: 定数, t: 時間)

【0028】これにより、成形樹脂の流れ場を位置および時間の関数として求めることができるとともに、次の結晶化度解析に必要な温度、圧力および応力、ならびに次の配向度（残留応力）解析に必要なせん断速度、温度を位置および時間の関数として求めることができる。

【0029】3) 結晶化度、配向度の算出: 次に、結晶化度は流動解析によって得られた温度、圧力、応力を基に結晶化度解析によって求める。結晶化度は例えば次の

ようにして求めることができる（成形加工、Vol. 1, 6, No. 4, P. 265 (1994)）。

【0030】結晶成長速度G、核形成速度Nを用いると、時間tにおける結晶化度Xcは次式(4)で示される。

【0031】

【数4】

$$\left. \begin{aligned} -\ln \left( 1 - \frac{X_c}{X_\infty} \right) &= \frac{1}{X_\infty} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_l} \int_0^t v(t, \tau) N_1(\tau) d\tau \\ v(t, \tau) &= k_f \left[ \int_\tau^t G(u) du \right]^n \end{aligned} \right\} (4)$$

$X_\infty$ : 結晶化過程で得られる最終結晶化度、  
 $\rho_c, \rho_l$ : 結晶部および非晶部の密度、  
 $G(t)$ : 結晶線成長速度、 $N_1(t)$ : 核形成速度、  
 $v(t, \tau)$ : 時刻 $\tau$ に発生した核が時刻tまで成長したときの結晶体積、  
 $k_f$ : 形状因子、n: 成長様式の次数

【0032】核形成の形態には均一核形成と不均一核形成という2つの形態がある。すなわち、前者は等温状態で高分子の溶融体の非晶部中に時間と共に均一に核が生じてくるもの、後者は等温状態で、結晶化開始時点で系の中に不均一に活性点が存在するものである。均一核形

成は $N_1$ 、不均一核形成は $N_2$ で与えられる。

【0033】高分子溶融体において結晶化の条件が変化して行く過程では、不均一核形成数は $N_2$ の変化量で与えられるので、(4)式は、

【数5】

$$- \ln \left( 1 - \frac{X_c}{X_\infty} \right) = \frac{1}{X_\infty} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_1} \int_0^t \left\{ \frac{dN_2(\tau)}{d\tau} \cdot v(t, \tau) d\tau + N_2(0) \cdot v(t, 0) \right\} \quad (5)$$

( $N_2(t)$ : 不均一核形成速度)

【0034】で表される。

【0035】ここで、結晶成長速度G、均一核形成速度 $N_1$  および不均一核形成速度 $N_2$  には温度依存性がある

り、これらの温度依存性は次の(6)式で示される。

【0036】

【数6】

$$\begin{aligned} \ln G &= \ln G_0 - \frac{\rho C_1 T}{(T - C_2)^2} - \frac{C_3 T_m}{T \Delta T} \\ \ln N_1 &= \ln N_{10} - \frac{\rho C_1 T}{(T - C_2)^2} - \frac{C_4 T_m}{T \Delta T} \\ \ln N_2 &= \ln N_{20} - \frac{C_4 T_m}{T \Delta T} \end{aligned} \quad (6)$$

$C_1 = C_1' \cdot C_2', C_2 = T_g - C_2'$   
 $C_1'$ : ユニバーサルコンスタント 17.44  
 $C_2'$ : ユニバーサルコンスタント 51.6  
 $T_m$ : 融点、T: 結晶化温度、 $\Delta T$ : 過冷却度 ( $T_m - T$ )  
 $G_0, N_{20}, m, \rho, C_3, C_4$ : 材料定数

【0037】この温度依存性を考慮することにより、精度の高い予測を行うことができる。さらには上記モデルにおいて、結晶化過程での圧力の影響や、樹脂の流動による配向の影響を考慮するのが好ましい。

【0038】圧力が結晶化過程に及ぼす影響は、融点 $T_m$  およびガラス転移温度 $T_g$  の変化として現われ、圧力の増加に伴い $T_m, T_g$  が上昇することが報告されている (Journal of Applied Polymer Science, 22, 633 (197

8))。この上昇率を考慮に入れて補正した $T_m, T_g$  の値を(6)式に代入することにより、各々の圧力におけるG、 $N_2$  が計算できる。

【0039】一方、樹脂が溶融状態で流動することによる高分子鎖の配向の影響は、エントロピーを減少させ、下記(7)式のように融点の上昇として現れる。

【0040】

【数7】

$$T_{m0} = \left( \frac{\Delta S}{\Delta S - \Delta S_0} \right) \cdot T_m \quad (7)$$

$(T_{m0}$ : 流動配向時の融点、 $\Delta S$ : 溶融時のエントロピー変化、  
 $\Delta S_0$ : 配向によるエントロピー変化)

【0041】ここで、複屈折 $\Delta n$ と応力 $\sigma$ の関係は応力光学係数Cを用いて、

$$\Delta n = C \cdot \sigma$$

( $\sigma$ : 応力、C: 応力光学係数)

【数8】

(8)

【0042】で与えられる。

【0043】一方、溶融状態の分子鎖をガウス鎖と仮定すると、流動による配向は、複屈折 $\Delta n$ をパラメーター

として、下記(9)式で示される。

【0044】

【数9】

$$\Delta n = \frac{2\pi}{45} \cdot \frac{(n^2 + 2)^2}{n} \cdot N(a_1 - a_2) \cdot \left( \lambda^2 - \frac{1}{\lambda} \right) \quad (9)$$

$\left( \begin{array}{l} \Delta n : \text{複屈折}, n : \text{平均屈折率}, N : \text{単位体積あたりのセグメント数}, \\ \lambda : \text{流動によるガウス鎖の変形率}, a_1 : \text{配向方向の分極率}, \\ a_2 : \text{配向に対して垂直方向の分極率} \end{array} \right)$

【0045】これら(8)、(9)式の結果を用い、配向によるエントロピー変化 $\Delta S_0$ は 【数10】

$$\Delta S_0 = \frac{N_A k}{2} \cdot \left( \lambda^2 + \frac{2}{\lambda} - 3 \right) \quad (10)$$

( $\Delta S_0$  : エントロピー変化、 $N_A$  : Avogadro定数、 $k$  : Boltzmann 定数)

【0046】で求められる。

【0047】従って、成形過程での応力がわかれば、(7)式により配向による $T_m$ の上昇を評価し、これを(6)式に代入することで、配向試料での $G$ 、 $N_2$ が計算できる。以上の手順により射出成形過程での結晶化度の解析を行うことができる。

【0048】次に配向度についてであるが、配向度は複屈折とほぼ等価と考えられるので、残留応力解析を行えばよい。流動に起因する残留応力は先の流動解析で計算される樹脂の熱流動場に基づき計算される。(成形加工、Vol. 2, No. 4, 317 (1990))

残留応力解析では、応力の緩和現象をシミュレートする

ために粘弾性構成方程式が用いられる。溶融樹脂の粘弾性挙動を表現する構成方程式としてはさまざまな式が提案されているが、レオノフモデルがよく使用されており、ここではこのモデルを例に説明する。

【0049】レオノフモデルの内、粘弾性応力 $\tau$ 、弾性ひずみ $c$ およびひずみ速度 $\dot{\gamma}^*$ の関係式(レオノフの応力-ひずみ関係式)は、次式(11)に示すように粘性応力項(右辺第1項)と弾性応力項(同第2項)から成るが、熱流動場の計算における簡素化に伴い、ひずみ速度 $\dot{\gamma}^*$ の成分として $\dot{\gamma}^*_{xx}$ 、 $\dot{\gamma}^*_{yy}$ のみを考慮している。

【数11】

$$\tau = 2 \eta_0 s \dot{\gamma}^* + 2 \sum_{k=1}^N \mu_k c_k$$

$$\dot{\gamma}^* = 1/2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{\gamma}_{xx} \\ 0 & 0 & \dot{\gamma}_{yy} \\ \dot{\gamma}_{xx} & \dot{\gamma}_{yy} & 0 \end{bmatrix}$$

$$C_k = \begin{bmatrix} c_{11,k} & c_{12,k} & c_{13,k} \\ c_{12,k} & c_{22,k} & c_{23,k} \\ c_{13,k} & c_{23,k} & c_{33,k} \end{bmatrix}$$

$$\eta_0 = \sum_{k=1}^N \eta_k / (1 - s)$$

(11)

( $\tau$  : 応力テンソル、 $\dot{\gamma}^*$  : ひずみ速度テンソル

$c_k$  : 第 $k$ 次モード弾性ひずみテンソル (Finger ひずみテンソル)

$\eta_0$  : zero-shear 粘度、 $s$  : レオロジーパラメータ、 $N$  : 緩和モード数、

$\eta_k$  : 第 $k$ 次モード粘度 (温度依存)  $\mu_k$  : 第 $k$ 次モード緩和弾性率

$\mu_k = \eta_k / 2 \theta_k$   $\theta_k$  : 第 $k$ 次モード緩和時間 (温度依存)

$c_k$  : 第 $k$ 次モード弾性ひずみテンソル)

【0050】流動解析で得られたひずみ速度 $\dot{\gamma}^*$ の経時変化を用いて、レオノフのひずみ関係式を解くことにより弾性ひずみ $c$ が求められる。さらに、これらのひずみ速度 $\dot{\gamma}^*$ および弾性ひずみ $c$ を上記(11)のレオノフの応力-ひずみ関係式に代入することにより、応力の緩和を考慮した粘弾性応力 $\tau$ が計算される。

【0051】ここで流動解析で得られた温度 $T$ の経時変化は、緩和時間 $\theta_k$ 、 $\eta_k$ などの温度に依存するパラメ

$$\Delta n_{ij} = C (\sigma_i - \sigma_j)$$

( $C$ : 応力光学係数(光弾性係数)、 $\sigma$ : 残留応力の主応力成分)

} (12)

【0054】4) 求められた結晶化度および配向度からの射出成形品の機械的強度の算出: 以上のようにして得た結晶化度と配向度(複屈折)を、予め算出した相関データ(重回帰式)に代入することにより、射出成形品の各部位の機械的強度を算出する。

【0055】なお、重回帰式を求めるために実測される結晶化度および配向度は、解析で求める結晶化度および配向度と完全に同一定義のものである必要はなく、相互に換算できるものであれば、測定の便宜などを考慮した別定義のものであってもよい。

【0056】これにより、実際に金型を製作して射出成形品の機械的強度を実測することなく、射出成形品の各種機械的強度を予測することが可能になる。本発明方法は、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブテン、これらの混合物、2種以上のオレフィンの共重合樹脂、ポリオレフィン系エラストマーなどの結晶性ポリオレフィン

ータを参照するときに用いられる。

【0052】そして残留応力解析により、上記のように応力の緩和を考慮して計算した残留応力分布に基づいて、次式(12)の応力光学則を用いて複屈折 $\Delta n$ が算出される。

【0053】

【数12】

系樹脂の射出成形品の機械的強度を予測するのに特に有用である。

【0057】

【発明の効果】本発明方法によれば、曲げ強度、曲げ弾性率などの機械的強度と、結晶化度および配向度との相関データを予め求めておき、成形条件、成形品形状および成形樹脂特性を含む成形諸元に基づく解析により算出される結晶化度および配向度をこれに代入することにより射出成形品の機械的強度を予測することができるので、金型の製作や射出成形試験を行わなくても機械的強度の評価を行うことができる。従って、金型や射出成形品の設計段階において、機械的強度が要求に合致しない時には設計変更や原料変更を行って再評価することができ、大幅な時間短縮と原料の削減が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一つの実施例のフローチャート

【図1】

図 1

